

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
18. März 2004 (18.03.2004)

PCT

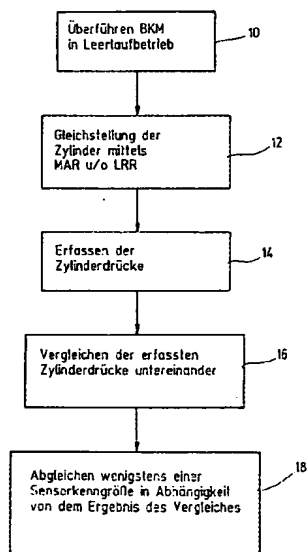
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/022951 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: F02D 35/02, 41/34 (72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): DAMITZ, Jens [DE/DE]; Elly-Heuss-Knapp-Weg 7, 75428 Illingen (DE). SAMUELSEN, Dirk [DE/DE]; Tischendorfstrasse 7, 71636 Ludwigsburg (DE). FEHRMANN, Ruediger [DE/DE]; Hoffmannstrasse 189, 71229 Leonberg (DE). SCHUELER, Matthias [DE/DE]; Alter Ossweiler Weg 72, 71638 Ludwigsburg (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/001713
- (22) Internationales Anmeldedatum: 26. Mai 2003 (26.05.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 102 40 492.5 3. September 2002 (03.09.2002) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: ROBERT BOSCH GMBH; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): CN, JP, US.
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR CALIBRATION OF THE CYLINDER SENSORS ON AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE WITH INDIVIDUAL CYLINDER OPERATION IN PARTICULAR IN A MOTOR VEHICLE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR KALIBRIERUNG DER ZYLINDERSENSORIK EINER ZYLINDERINDIVIDUELL BETRIEBENEN BRENNKRAFTMASCHINE INSBESONDERE EINES KRAFTFAHRZEUGES



- 10...PLACE ENGINE AT IDLE  
12...EQUALISATION OF THE CYLINDERS BY MEANS OF MAR AND/OR LRR  
14...RECORD THE CYLINDER PRESSURES  
16...COMPARE THE RECORDED CYLINDER PRESSURES WITH EACH OTHER  
18...EQUALISE AT LEAST ONE SENSOR PARAMETER DEPENDING ON THE RESULT OF THE COMPARISON

(57) Abstract: The invention relates to a method for the calibration of at least two sensors for recording parameters characteristic of the combustion process in an internal combustion engine, comprising at least two cylinders and with individual cylinder operation. According to the invention, the internal combustion engine (10) is started at at least one operating point, at which an equalization of the at least two cylinders, by means of at least one quantitative equalisation, method may be carried out with high precision. An equalisation of the at least two cylinders at the at least one operating point is carried out by means of the at least one qualitative equalisation method (12) and, after a successful equalisation of the at least two cylinders, at least one sensor characteristic parameter of the at least two sensors are compared with each other (18).

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren zur Kalibrierung wenigstens zweier Sensoren zur Erfassung einer den Verbrennungsvorgang in einer wenigstens zwei Zylinder aufweisenden, zylinderindividuell betriebenen Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeuges charakterisierenden Größe ist erfindungsgemäss vorgesehen, dass wenigstens ein Betriebspunkt der Brennkraftmaschine angefahren wird (10), in dem eine Gleichstellung der wenigstens zwei Zylinder mittels wenigstens eines Mengengleichstellungsverfahrens mit hoher Genauigkeit durchführbar ist, dass in dem wenigstens einen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine eine Gleichstellung der wenigstens zwei Zylinder mittels des wenigstens einen Mengengleichstellungsverfahrens durchgeführt wird (12) und dass nach erfolgter Gleichstellung der wenigstens zwei Zylinder wenigstens eine Sensorengröße der wenigstens zwei Sensoren gegeneinander abgeglichen wird (18).



**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**Verfahren zur Kalibrierung der Zylindersensorik einer zylinderindividuell betriebenen Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeuges**

**Beschreibung**

**STAND DER TECHNIK**

Die Erfindung betrifft allgemein zylinderindividuell betriebene Brennkraftmaschinen insbesondere von Kraftfahrzeugen und im Besonderen ein Verfahren zur Kalibrierung von in wenigstens zwei Zylindern einer solchen Brennkraftmaschine angeordneten Sensoren zur Erfassung einer den Verbrennungsvorgang im jeweiligen Zylinder charakterisierenden Größe gemäß dem Oberbegriff des unabhängigen Anspruchs 1.

Zylinderindividuell betriebene Brennkraftmaschinen weisen häufig eine sogenannte Mengenausgleichsregelung (MAR) bzw. Laufruheregelung (LRR) auf, welche bspw. aus der DE 199 45 618 A1 hervorgeht. Hierzu ist jedem Zylinder der Brennkraftmaschine ein Regler zugeordnet. Hintergrund für diese Maßnahme ist, dass bei etwa auftretenden Mengenfehlern bei der Kraftstoffzumessung eine an sich unerwünschte Drehungleichförmigkeit auftritt. Wenn nun ein Zylinder aufgrund von Toleranzen eine erhöhte Kraftstoffmenge zumisst, so bewirkt die MAR, dass für diesen Zylinder eine negative Kraftstoffmenge zur Fahrerwunschmenge hinzuaddiert wird. Umgekehrt wird eine positive Kraftstoffmenge hinzuaddiert, wenn ein Zylinder eine zu geringe Kraftstoffmenge zumißt.

Mittels der beiden Regelungen MAR und LRR lassen sich im Betrieb eines Dieselmotors etwa auftretende Einspritzmengenfehler, die zu Momentenunterschieden und damit zu ungleichförmigen Motordrehzahlen führen, ausregeln und der bei Dieselmotoren bekanntermaßen kritische Motorkomfort im unteren Drehzahlbereich wesentlich verbessern. Weiterhin lassen sich mit der durch die Ausregelung herbeigeführten Gleichstellung der Zylinder nicht nur im unteren, komfortrelevanten Drehzahlbereich, sondern auch bei höheren Drehzahlen Emissionsverbesserungen erzielen.

Nun ist eine Mengengleichstellung mittels MAR oder LRR nicht in allen Betriebsbereichen eines Dieselmotors effizient, da motortypabhängig zusätzliche Effekte wie bspw. Torsionsschwingungen auf der Kurbelwelle auftreten, welche zudem stark drehzahlabhängig sind. Daher wurden auch Verfahren zum zylinderindividuellen Betrieb einer Brennkraftmaschine vorgeschlagen, bei denen eine direkte Auswertung eines mit der Verbrennung unmittelbar in Zusammenhang stehenden Signals, z.B. des Zylinderdruckes, erfolgt. Diese Verfahren ermöglichen eine Zylindergleichstellung auch bei höheren Drehzahlen. Bei diesen Verfahren werden aus dem Verlauf des Zylinderdruckes Betriebskenngrößen des Verbrennungsvorganges, bspw. der in den einzelnen Zylindern indizierte Mitteldruck bzw. das diesem entsprechende Moment oder die Schwerpunktlage des Differenzdruckes zwischen den einzelnen Zylindern, berechnet. So kann durch Regelung des indizierten Mitteldruckes eine präzisere, zylinderindividuelle Einregelung der Sollmomente und damit eine bessere Gleichstellung der Zylinder in allen Betriebsbereichen erzielt werden.

Bei zylinderdruckbasierten Motorsteuerungen werden die im Betrieb des Motors sich ergebenden Zylinderdrücke mittels Drucksensoren über der Zeit oder über den Kurbelwinkel gemessen und einer Motorsteuerung zur Verfügung gestellt. Ein derartiger Drucksensor geht bspw. aus der DE 197 49 814 A1 hervor. Weiter sind Verfahren bekannt, mit denen aus einem hochaufgelösten Drucksignal während des Motorbetriebes Kenngrößen ermittelt werden, die dann wiederum zur zylinderindividuellen Optimierung des Motorprozesses im Hinblick auf die Zielgrößen Verbrauch, Emission und Komfort benutzt werden. Als Kenngrößen werden bspw. der Druck oder Druckdifferenzintegrale, die indizierte Arbeit oder das indizierte Moment verwendet.

Ferner ist in der unveröffentlichten deutschen Patentanmeldung mit dem Az. 101 59 017 ein ähnliches Verfahren offenbart, bei dem die Steuerung und/oder Regelung von Motorbetriebskenngrößen abhängig von einer von dem eigentlichen Drucksignal abgeleiteten Größen erfolgt. Diese abgeleitete Größe charakterisiert bspw. die Änderung des Drucksignals oder den Verlauf der Verbrennung. Dadurch wird eine sehr genaue Korrektur der Voreinspritzung während des Motorbetriebes ermöglicht.

Die genannte zylinderindividuelle Steuerung erfolgt üblicherweise mittels in bzw. an den Zylindern angeordneten Stellern, welche durch zylinderindividuelle Stellgrößen angesteuert werden. Bei diesen Stellgrößen handelt es sich bspw. um die Ansteuerdauern und/oder Ansteuerbeginne einer Einspritzung.

Die zylinderdruckbasierten Verfahren haben den Nachteil, dass die von den Drucksensoren gelieferten Messwerte aufgrund von fertigungs- und/oder betriebsbedingten Toleranzen häufig fehlerbehaftet sind. Werden diese Messfehler nicht korrigiert, verfälschen sie die berechneten Zylinderdruckwerte und bewirken aufgrund der genannten Regelung im Ergebnis eine Verstimmung der einzelnen Zylinder untereinander.

Die genannten Messfehler äussern sich in unterschiedlichen Sensorkenngrößen, welche in Sensorkennlinien bevorzugt sowohl als fehlerbehafteter Offset als auch als fehlerbehafteter Verstärkungsfaktor einfließen. Zur Kalibrierung bzw. Korrektur des Offset existieren bereits Lösungsansätze, bei denen der Druckanstieg zu Beginn einer Kompressionsphase der Brennkraftmaschine ausgewertet wird. Allerdings existieren bislang keine Verfahren zur Kalibrierung bzw. Korrektur etwa fehlerbehafteter Verstärkungsfaktoren. Die einzelnen Verstärkungsfaktoren spielen zudem eine übergeordnete Rolle für den gesamten Betrieb einer Brennkraftmaschine, da sie bei der Berechnung auch vieler anderer Zylinderdruckmerkmale unmittelbar einfließen.

## AUFGABE DER ERFINDUNG

Der vorliegenden Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, ein eingangs genanntes Verfahren zur Kalibrierung von in wenigstens zwei Zylindern einer zylinderindividuell betriebenen Brennkraftmaschine angeordneten Sensoren zur Erfassung einer den Verbrennungsvorgang im jeweiligen Zylinder charakterisierenden Größe bereitzustellen, welches einen Abgleich der wenigstens zwei Sensoren mit hoher Präzision ermöglicht.

## VORTEILE DER ERFINDUNG

Die genannte Aufgabe wird gelöst durch die Merkmale des unabhängigen Verfahrensanspruchs. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

Das erfindungsgemäße Verfahren sieht in einem ersten Schritt vor, zur Durchführung des genannten Sensorabgleichs zunächst wenigstens einen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine anzufahren, in dem eine Gleichstellung der Zylinder in dem o.g. Sinne mit den eingangs genannten Mengengleichstellungsverfahren wie bspw. der MAR oder der LRR mit relativ hoher Präzision möglich ist. In diesem Betriebspunkt wird dann eine Gleichstellung der Zylinder mittels wenigstens eines der genannten Mengengleichstellungsverfahren durchgeführt.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung können dabei solche Betriebspunkte der Brennkraftmaschine ausgewählt werden, in denen nur geringe störende Nebeneffekte wie die bereits erwähnten Torsionsschwingungen der Kurbelwelle oder eine ungleiche Brennraum-/Zylinderfüllung aufgrund von Luftmassenschwingungen zu erwarten sind. Ein bevorzugter solcher Betriebspunkt ist der Leerlaufbetrieb.

Dem ersten erfindungsgemäßen Schritt liegt die Erkenntnis zugrunde, dass bei einer Gleichstellung der Zylinder mittels eines genannten Mengengleichstellungsverfahrens davon ausgegangen werden kann, dass alle Zylinder die gleiche Einspritzmenge bekommen und daher das gleiche Moment bzw. den gleichen Mitteldruck liefern.

In einem zweiten Schritt wird die im ersten Schritt erlangte Gleichstellung ausgenutzt, um wenigstens eine der genannten Sensorkenngrößen wenigstens zweier Drucksensoren gegeneinander abzugleichen. Hierbei wird sich zunutze gemacht, dass die im ersten Schritt im Betrieb der Brennkraftmaschine in unterschiedlichen Zylindern sich ergebenden Verhältnisse des Verbrennungsvorganges, bevorzugt des Zylinderinnendruckes (Mitteldrucks) oder des Momentes, in erster Näherung gleich sind und somit Abweichungen der von den Sensoren jeweils erfassten Betriebskenngrößen der Brennkraftmaschine in erster Näherung ausschließlich aus fehlerbehafteten Sensorkenngrößen, insbesondere dem Verstärkungsfaktor und/oder dem Offset, herrühren.

Mit dem vorteilhaft im Betrieb der Brennkraftmaschine durchführbaren Abgleich lassen sich demnach fehlerbehaftete Sensorkenngrößen/-linien technisch einfach, jedoch äußerst effizient und präzise korrigieren bzw. kalibrieren und somit eine mögliche Verstimmung der verschiedenen Zylinder der Brennkraftmaschine wirksam vermeiden.

Bei den hier betroffenen Sensoren handelt es sich bevorzugt um Drucksensoren zur Erfassung des bei der Verbrennung auftretenden Zylinderinnendruckes (Mitteldrucks) und damit indirekt des durch die Verbrennung indizierten Momentes.

Im Ergebnis werden mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens durch die Korrektur des Verstärkungsfaktors und/oder des Offsets einzelner Sensoren die Druckverläufe in den Zylindern und die berechneten Betriebskenngrößen der Brennkraftmaschine aneinander angepasst. Das Verfahren ermöglicht zwar keine absolute Kalibrierung der Sensoren, jedoch einen relativen Abgleich der Sensoren untereinander, wodurch der zylinderindividuelle Betrieb der Brennkraftmaschine insgesamt verbessert wird.

#### ZEICHNUNG

Die Erfindung wird nachfolgend, unter Heranziehung der Zeichnung, anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele eingehender erläutert, aus denen sich weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben.

In der Zeichnung zeigen

- Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Kalibrierungsverfahrens anhand eines Flussdiagrammes;
- Fig. 2 ebenfalls anhand eines Flussdiagrammes, ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung; und
- Fig. 3 nach einer Zylindergleichstellung mittels MAR/LRR bei einer vier Zylinder aufweisenden Brennkraftmaschine typischerweise vorliegende Sensorkennlinien.

#### BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

Die Fig. 1 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Routine zur Kalibrierung von in den Zylindern (Brennräumen) einer Brennkraftmaschine (BKM) eines Kraftfahrzeuges angeordneten Drucksensoren, anhand dessen das Grundkonzept der Erfindung illustriert werden soll.

Die gezeigte Routine startet damit, dass die BKM gemäß Schritt 10 in einen Betriebszustand übergeführt wird, in dem eine sehr hohe Genauigkeit einer Zylindergleichstellung mittels einer Mengenausgleichsregelung (MAR) und/oder einer Laufruhe Regelung (LRR) erreichbar ist. Diese Überführung geschieht in an sich bekannter Weise mittels einer elektronischen Motorsteuerung. Einen solchen Betriebszustand stellt vorliegend der lastfreie Betrieb der BKM mit der Leerlaufdrehzahl (Leerlaufbetrieb) dar, da in diesem Betriebszustand für die MAR und/oder LRR störende Nebeneffekte wie bspw. Kurbelwellentorsionsschwingungen oder Luftmassenschwingungen minimiert sind.

Im Leerlaufbetrieb wird nun gemäß Schritt 12 in an sich bekannter Weise eine Gleichstellung der einzelnen Zylinder der BKM mittels der MAR und/oder LRR durchgeführt. Durch diese Gleichstellung wird erreicht, dass alle Zylinder den gleichen effektiven Mitteldruck  $p_{me}$  liefern. Betrachtet man nun den Reibmitteldruck  $p_{mR}$



vereinfachend für alle Zylinder als gleich, so ergibt sich für alle Zylinder der gleiche indizierte Mitteldruck  $p_{mi}$ , der sich aus einem effektiven Mitteldruck  $p_{me}$  und dem Reibmitteldruck gemäß der Beziehung  $p_{mi} = p_{me} + p_{mR}$  zusammensetzt. Der indizierte Mitteldruck  $p_{mi}$  lässt sich zudem in an sich bekannter Weise aus dem jeweiligen Zylinderdruck berechnen. Daher können Unterschiede in den berechneten  $p_{mi}$ -Werten der verschiedenen Zylinder nur auf fehlerbehaftete Sensorkennlinien, insbesondere auf einen fehlerhaften Verstärkungsfaktor, zurückgeführt werden. Zusätzlich kann auch ein Offset der Sensorkennlinien eine solche Abweichung zumindest teilweise mitverursachen.

Es ist dabei anzumerken, dass die eingangs beschriebene, im Stand der Technik an sich bekannte Korrektur des Offsetwertes auf die Sensorkennlinie  $U = f(p)$  bezogen ist. Im Gegensatz dazu bezieht sich die in der Fig. 3 gezeigte Offset-Korrektur auf die Kennlinie der Kenngrößen  $p_{mi} = f(p_{me})$ . Ein Offset-Fehler in der Sensorkennlinie  $U = f(p)$  wirkt sich nicht auf den berechneten  $p_{mi}$ -Wert aus. Offset-Abweichungen in den Kennlinien  $p_{mi} = f(p_{me})$  beruhen dagegen nicht auf Sensorfehlern, sondern auf Unterschieden im Reibmitteldruck, wobei vorauszusetzen ist, dass ein idealer Ausgleich der effektiven Mitteldrücke durchführbar ist und die genannten Steigungen bereits abgeglichen worden sind.

In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel werden die in Schritt 14 erfassten Zylinderdruckverläufe selbst verglichen 16 und mit dem Ergebnis dieses Vergleichs die einzelnen Sensorkenngrößen untereinander abgeglichen 18. Alternativ lassen sich auch andere Betriebskenngrößen der BKM zum Abgleich der Sensorkenngrößen/-linien nutzen. Wie in der Fig. 2 illustriert, kann der Abgleich auch durch Gleichsetzung der genannten berechneten  $p_{mi}$ -Werte erfolgen.

Es ist anzumerken, dass in dem vorbeschriebenen Ausführungsbeispiel der Abgleich technisch vereinfachend in nur einem einzigen Betriebspunkt der BKM erfolgt, wohingegen bei dem in der Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel wenigstens zwei Betriebspunkte angefahren werden müssen. Die letztere Variante ermöglicht indes eine höhere Kalibriergüte. Bei dem in Fig. 1 illustrierten Ausführungsbeispiel kann allerdings zur Reduzierung des Einflusses von Hub-zu-Hub-Streuungen in den Zylindern der BKM

zusätzlich eine Filterung, z.B. Mittelung über mehrere Betriebszyklen der BKM, vorgesehen sein.

In der Fig. 2 ist ein zweites Ausführungsbeispiel dargestellt, bei dem die Sensorkennlinien in mehreren Betriebspunkten der BKM, d.h. vorliegend bei mehreren Lasten bei konstanter Drehzahl, abgeglichen werden. Durch Berücksichtigung des genannten Offsets in den Sensorkennlinien lassen sich unterschiedliche Reibmomente bzw. Reibmitteldrücke  $p_{mR}$  der einzelnen Zylinder berücksichtigen, welche z.B. auf unterschiedliche Kompressionsverhältnisse in den einzelnen Zylindern zurückzuführen sind.

Die in Fig. 2 dargestellte Prozedur startet in Schritt 100 damit, dass ein Zähler  $n = 1$  initiiert wird. In Schritt 102 wird die BKM in einen  $n$ -ten Betriebszustand, d.h. vorliegend zunächst in einen 1-ten Betriebszustand übergeführt. Dieser erste Betriebszustand ist durch eine von der Einspritzmenge  $m_e$  an diesem Betriebspunkt ( $m_{e1}$ ) abhängige Last und eine im Folgenden als konstant angenommene Drehzahl  $z$  charakterisiert. In diesem ersten Betriebspunkt der BKM erfolgt in Schritt 104 eine Gleichstellung der Zylinder untereinander mittels MAR/LRR, wie anhand der Fig. 1 beschrieben. Nach erfolgter Gleichstellung der Zylinder werden mittels der Drucksensoren die in den Zylindern vorliegenden Drücke erfasst 106 und aus den erfassten Druckwerten die in den Zylindern jeweils indizierten Momente bzw. Mitteldrücke  $p_{mi}$  berechnet 108.

Das nun vorliegende Zahlentupel ( $p_{mi}$ ,  $m_e$ ) wird nun zwischengespeichert 110. Daraufhin wird der Zähler  $n$  um 1 inkrementiert 112 und geprüft 114, ob der inkrementierte Wert von  $n$  kleiner als eine obere Grenze  $n_{max}$  ist. In Abhängigkeit von dem Ergebnis dieses Vergleichs wird entweder zu Schritt 201 zurückgesprungen oder weiterverfahren. Die Grenze  $n_{max}$  gibt demnach vor, wie oft die Schleife 102 – 110 wiederholt wird, d.h. wie viele verschiedene Betriebspunkte der BKM angefahren werden (Last A2 bei  $m_{e2}$ , Last A3 bei  $m_{e3}$ , etc.) und wie viele der genannten Zahlentupel zwischengespeichert werden.

Ist die obere Grenze  $n_{max}$  überschritten, werden aus den zwischengespeicherten Zahlentupeln ( $p_{mi}$ ,  $m_e$ ) Sensorkennlinien (Fig. 3) für die einzelnen Zylinder erstellt 116.

An die einzelnen Messpunkte der Kennlinien werden mittels der Methode der kleinsten Fehlerquadrate Ausgleichsgeraden angepasst 118. In Schritt 120 werden die Steigungen dieser Ausgleichsgeraden miteinander verglichen und jeweils Abweichungen zwischen diesen berechnet. Ist wenigstens eine dieser Abweichungen größer als ein empirisch zu ermittelnder Schwellenwert, erfolgt in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel Ausgabe einer Fehlermeldung 122 hinsichtlich der Funktion der Sensorik und/oder der BKM selbst. Der Schritt 122 ist nur optional.

Geht man hierbei in erster Näherung von einem konstanten Reibmoment bzw. Reibmitteldruck  $pm_R$  in den einzelnen Zylindern aus, so lässt sich die Sensorverstärkung als Steigung der Ausgleichsgeraden interpretieren. Als konstantes Reibmoment bzw. Reibmitteldruck  $pm_R$  ergibt sich dann der Offset der Ausgleichsgeraden für  $me = 0$ .

Ist der genannte Schwellenwert unterschritten, kann ein Abgleich der Sensorkenngrößen erfolgen. In Schritt 124 werden die Verstärkungsfaktoren der einzelnen Drucksensoren untereinander mittels Anpassung der Steigungen der Ausgleichsgeraden abgeglichen. Durch die Kurven- bzw. Geradenanpassung 126 wird mittels des genannten Offsets der Ausgleichsgeraden automatisch auch ein Abgleich der Reibmomente bzw. Reibmitteldrücke der Zylinder untereinander vorgenommen 126.

Alternativ zu dem vorbeschriebenen linearen Funktionsansatz  $p_{mi} = f(me)$  für die Sensorkennlinien können auch polynomiale Funktionen höherer Ordnung zugrundegelegt werden. Dadurch lässt sich insbesondere ein über der Last veränderliches Reibmoment bzw. Reibmitteldruck  $pm_R$  berücksichtigen.

In einer weiteren, hier nicht figürlich dargestellten Verfahrensvariante wird zusätzlich eine Plausibilisierung der ermittelten Sensorkenngrößen, insbesondere der ermittelten Verstärkungsfaktoren, durchgeführt. Dadurch wird zusätzlich ermöglicht, ähnlich wie in Schritt 122 in der Fig. 2, mögliche Funktionsdefekte an einem oder mehreren der Drucksensoren oder sogar Defekte an der BKM selbst zu detektieren, jedoch mit einer gegenüber Fig. 2 höheren Güte.

Schließlich zeigt die Fig. 3 nach einer Zylindergleichstellung mittels MAR und LRR sich typischerweise ergebende Sensorkennlinien. Hierbei ist das aus den in jedem Zylinder erfassten Druckwerten berechnete indizierte Moment bzw. Mitteldruck  $p_{mi}$  über der in drei unterschiedlichen Betriebspunkten der BKM gemessenen Einspritzmenge  $m_e$  aufgetragen. An die Messpunkte wurden mittels der Methode der kleinsten Fehlerquadrate bereits Ausgleichsgeraden angepasst. Aus der Steigung dieser Geraden ergibt sich unmittelbar der Verstärkungsfaktor der jeweiligen Drucksensoren. Wie zu ersehen weicht eine der drei Kennlinien in ihrer Steigung von den übrigen Kennlinien sichtbar ab. Gerade bei dieser Kennlinie führt ein Abgleich nach dem obigen Verfahren zu einer deutlich verbesserten Kalibrierung der Sensoren untereinander.

Es versteht sich, dass die grundlegenden Konzepte der Erfindung nicht nur bei BKM mit zylinderförmig ausgebildeten Brennräumen anwendbar sind, sondern bei wenigstens zwei Brennräume aufweisenden BKM jeglicher Art, wie bspw. Wankelmotoren. Ferner wird hier verstanden, dass die Erfindung nicht nur bei den vorbeschriebenen Drucksensoren, sondern grds. bei sämtlichen zum zylinderindividuellen Betrieb der BKM benötigten, d.h. zur Erfassung einer den Verbrennungsvorgang in den Zylindern unmittelbar oder mittelbar charakterisierenden Größe geeigneten Sensoren wie bspw. Einspritzmengensensoren oder dgl., einsetzbar ist.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Kalibrierung wenigstens zweier Sensoren zur Erfassung einer den Verbrennungsvorgang in einer wenigstens zwei Zylinder aufweisenden, zylinderindividuell betriebenen Brennkraftmaschine insbesondere eines Kraftfahrzeuges charakterisierenden Größe, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Betriebspunkt der Brennkraftmaschine angefahren wird (10), in dem eine Gleichstellung der wenigstens zwei Zylinder mittels wenigstens eines Mengengleichstellungsverfahrens mit hoher Genauigkeit durchführbar ist, dass in dem wenigstens einen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine eine Gleichstellung der wenigstens zwei Zylinder mittels des wenigstens einen Mengengleichstellungsverfahrens durchgeführt wird (12) und dass nach erfolgter Gleichstellung der wenigstens zwei Zylinder wenigstens eine Sensorengröße der wenigstens zwei Sensoren gegeneinander abgeglichen wird (18).
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die den Verbrennungsvorgang im jeweiligen Zylinder charakterisierende Größe durch den Druck repräsentiert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass als Sensorengröße ein Offset und/oder ein Verstärkungsfaktor einer Sensorenlinie abgeglichen wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für den Abgleich der wenigstens einen Sensorengröße Betriebspunkte der Brennkraftmaschine ausgewählt werden, in denen geringe Störeffekte durch den Betrieb der Brennkraftmaschine zu erwarten sind.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus von den wenigstens zwei Sensoren erfassten Größen das in dem

jeweiligen Zylinder indizierte Moment oder der in dem jeweiligen Zylinder indizierte Mitteldruck berechnet wird und aus Unterschieden zwischen den in den wenigstens zwei Zylindern indizierten Momenten oder Mitteldrücken auf eine fehlerhafte Sensorengröße bzw. Sensorenlinie geschlossen wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Abgleich der wenigstens einen Sensorengröße durch Gleichsetzung der in den wenigstens zwei Zylindern berechneten indizierten Momente oder Mitteldrücke erfolgt.
7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Abgleich der wenigstens einen Sensorengröße mittels der wenigstens einen Betriebskenngröße erfolgt (16).
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Abgleich in einem einzigen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine durchgeführt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine Filterung, insbesondere eine Mittelung, über wenigstens zwei Betriebszyklen der Brennkraftmaschine durchgeführt wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Abgleich in wenigstens zwei Betriebspunkten der Brennkraftmaschine durchgeführt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Abgleich der wenigstens zwei Sensorengrößen in wenigstens zwei Lastpunkten bei jeweils konstanter Drehzahl der Brennkraftmaschine erfolgt.
12. Verfahren nach Anspruch 10, soweit auf Anspruch 5 rückbezogen, dadurch gekennzeichnet, dass das indizierte Moment oder der indizierte Mitteldruck aus der Summe eines effektiven Moments oder eines effektiven Mitteldrucks, und eines Reibmoments oder eines Reibmitteldrucks, gebildet wird, wobei das Reibmoment oder der Reibmitteldruck für die wenigstens zwei Zylinder in erster

Näherung als konstant angenommen wird und wobei der jeweilige Verstärkungsfaktor aus der Steigung einer Ausgleichsgeraden (Kennlinie) durch die mittels verschiedener Kraftstoffzumessmengen berechneten Werte der indizierten Momente oder der indizierten Mitteldrücke und der Offset durch das Reibmoment oder den Reibmitteldruck gebildet werden.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass aus einer Abweichung von in den wenigstens zwei Zylindern ermittelten Ausgleichsgeraden (Kennlinien) untereinander auf eine Fehlfunktion des jeweiligen Sensors und/oder der Brennkraftmaschine geschlossen wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das indizierte Moment oder der indizierte Mitteldruck aus einem durch ein effektives Moment oder einen effektiven Mitteldruck, und ein Reibmoment oder einen Reibmitteldruck, gebildetes Polynom berechnet wird, wobei der jeweilige Verstärkungsfaktor aus einer rechnerischen Kurvenangleichung des über verschiedene Kraftstoffzumessmengen berechneten indizierten Moments oder indizierten Mitteldrucks gebildet wird.
15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass ein über die Last der Brennkraftmaschine veränderliches Reibmoment oder ein über die Last der Brennkraftmaschine veränderlicher Reibmitteldruck zugrundegelegt wird.
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Plausibilisierung der in den wenigstens zwei Zylindern erfassten Sensorkenngrößen vorgenommen wird.

1 / 3

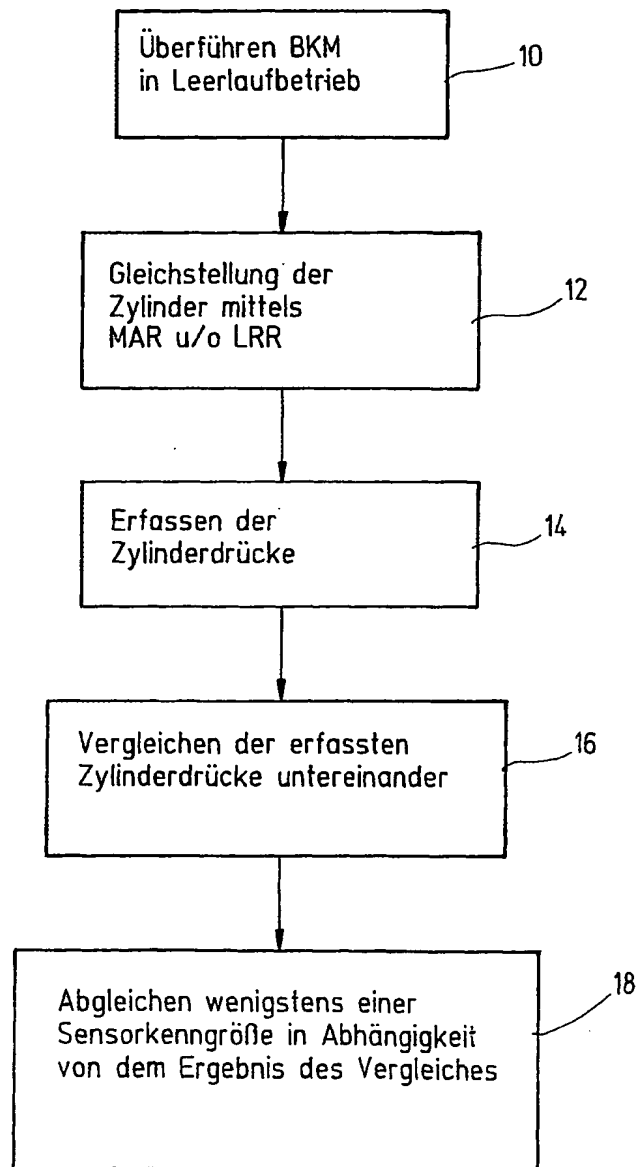


Fig.1



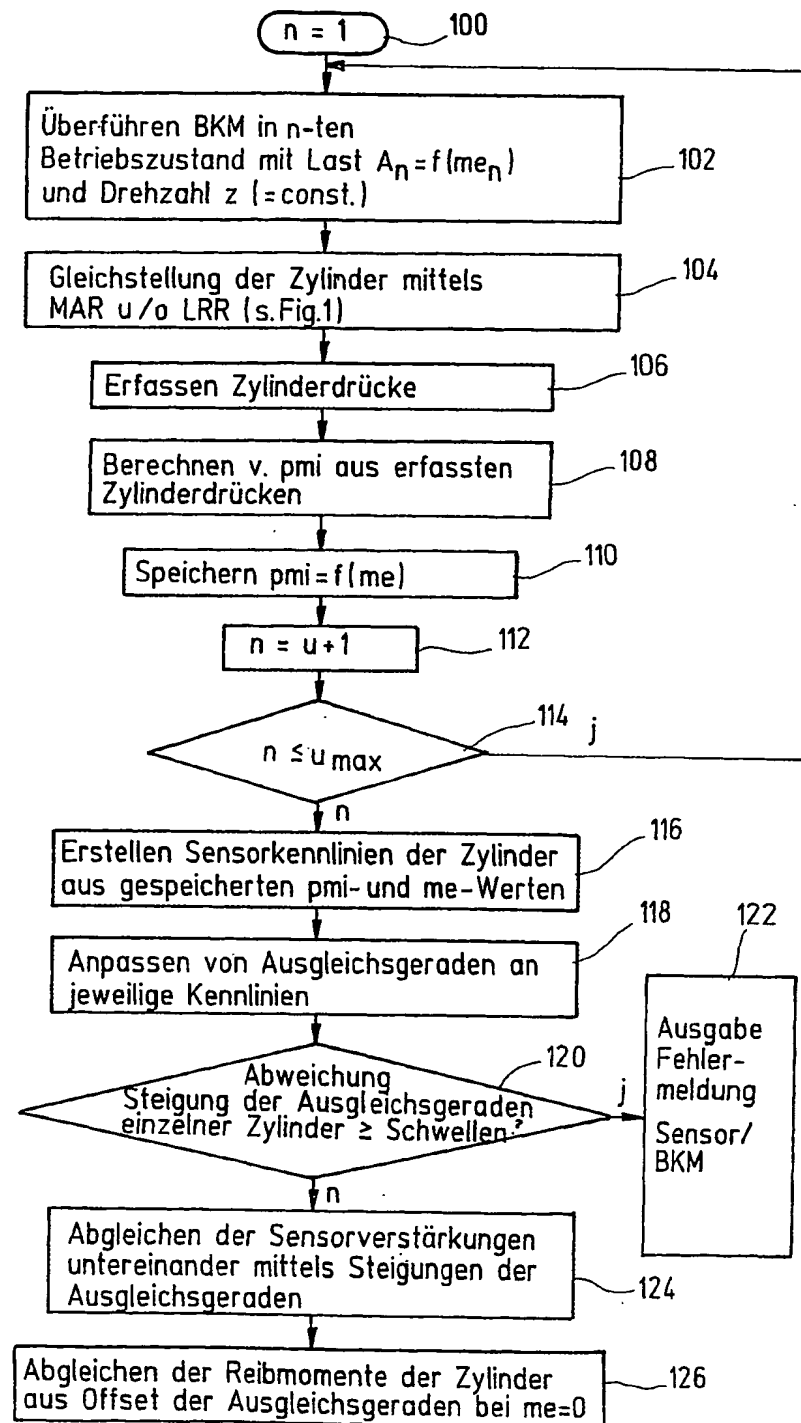


Fig.2

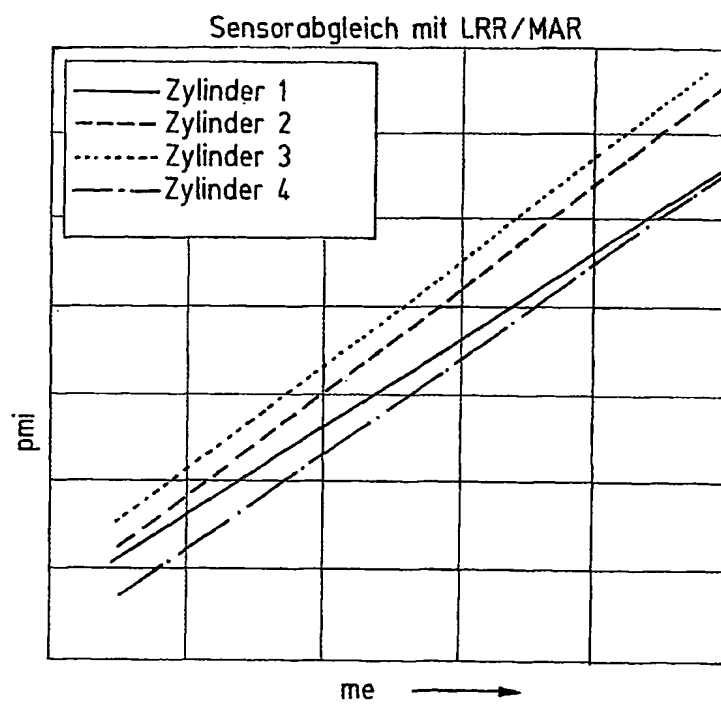


Fig.3

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 00/0713

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 F02D35/02 F02D41/34

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F02D F02P G01M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP' 0 411 580 A (JAPAN ELECTRONIC CONTROL SYST) 6 February 1991 (1991-02-06) page 2, line 29 -page 3, line 24 page 5, line 15 -page 6, line 39 page 7, line 48 - line 50 figures 1,4-7	1-9, 16
A	US 4 744 244 A (TANAKA AKIRA) 17 May 1988 (1988-05-17) column 6, line 22 -column 5, line 58 claims	1-16
A	WO 00 79113 A (RING STEFAN ;MOTOREN TURBINEN UNION (DE)) 28 December 2000 (2000-12-28) page 3, line 22 -page 4, line 22 figure 2	1-16
	-/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

**\* Special categories of cited documents :**

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

3 October 2003

Date of mailing of the international search report

13/10/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Libeaut, L

International Application No  
PCT/DE 01/13

International Application No  
PCT/DE 01/13

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 657 729 A (ATSUGI UNISIA CORP) 14 June 1995 (1995-06-14) column 6, line 31 -column 8, line 39 figure 2 ---	1-16
A	DE 199 45 618 A (BOSCH GMBH ROBERT) 29 March 2001 (2001-03-29) cited in the application the whole document ---	1
A	EP 0 416 270 A (BOSCH GMBH ROBERT) 13 March 1991 (1991-03-13) the whole document ---	1
A	EP 0 115 317 A (NISSAN MOTOR) 8 August 1984 (1984-08-08) page 18, line 22 -page 20, line 21 claims -----	1-16

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 00000000/13

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
EP 0411580	A	06-02-1991	JP	3064653 A	20-03-1991
			DE	69006287 D1	10-03-1994
			DE	69006287 T2	16-06-1994
			EP	0411580 A1	06-02-1991
			US	5276625 A	04-01-1994
US 4744244	A	17-05-1988	JP	1736945 C	26-02-1993
			JP	4021131 B	08-04-1992
			JP	62192627 A	24-08-1987
			DE	3704837 A1	20-08-1987
			GB	2187001 A , B	26-08-1987
WO 0079113	A	28-12-2000	DE	19927846 A1	21-12-2000
			WO	0079113 A1	28-12-2000
			EP	1187976 A1	20-03-2002
EP 0657729	A	14-06-1995	JP	2893233 B2	17-05-1999
			JP	7158499 A	20-06-1995
			DE	69416795 D1	08-04-1999
			DE	69416795 T2	22-07-1999
			EP	0657729 A2	14-06-1995
			US	5469735 A	28-11-1995
DE 19945618	A	29-03-2001	DE	19945618 A1	29-03-2001
			IT	MI20001997 A1	14-03-2002
			JP	2001090580 A	03-04-2001
EP 0416270	A	13-03-1991	DE	3929746 A1	14-03-1991
			DE	59004671 D1	31-03-1994
			EP	0416270 A1	13-03-1991
			JP	3100351 A	25-04-1991
			JP	3146001 B2	12-03-2001
			US	5131371 A	21-07-1992
EP 0115317	A	08-08-1984	JP	1491195 C	07-04-1989
			JP	59206648 A	22-11-1984
			JP	63040268 B	10-08-1988
			EP	0115317 A2	08-08-1984
			US	4531399 A	30-07-1985

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Abkürzungen

PCT/DE 000713

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 F02D35/02 F02D41/34

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 F02D F02P 601M

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 411 580 A (JAPAN ELECTRONIC CONTROL SYST) 6. Februar 1991 (1991-02-06) Seite 2, Zeile 29 -Seite 3, Zeile 24 Seite 5, Zeile 15 -Seite 6, Zeile 39 Seite 7, Zeile 48 - Zeile 50 Abbildungen 1,4-7	1-9,16
A	US 4 744 244 A (TANAKA AKIRA) 17. Mai 1988 (1988-05-17) Spalte 6, Zeile 22 -Spalte 5, Zeile 58 Ansprüche	1-16
A	WO 00 79113 A (RING STEFAN ;MOTOREN TURBINEN UNION (DE)) 28. Dezember 2000 (2000-12-28) Seite 3, Zeile 22 -Seite 4, Zeile 22 Abbildung 2	1-16
	--- -/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*&amp;\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

3. Oktober 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

13/10/2003

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Libeaut, L

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Abkommen

PCT/DE 03/13

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 657 729 A (ATSUGI UNISIA CORP) 14. Juni 1995 (1995-06-14) Spalte 6, Zeile 31 -Spalte 8, Zeile 39 Abbildung 2 ---	1-16
A	DE 199 45 618 A (BOSCH GMBH ROBERT) 29. März 2001 (2001-03-29) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument ---	1
A	EP 0 416 270 A (BOSCH GMBH ROBERT) 13. März 1991 (1991-03-13) das ganze Dokument ---	1
A	EP 0 115 317 A (NISSAN MOTOR) 8. August 1984 (1984-08-08) Seite 18, Zeile 22 -Seite 20, Zeile 21 Ansprüche -----	1-16

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Abkommen  
PCT/DE 05/13

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0411580 A	06-02-1991	JP 3064653 A DE 69006287 D1 DE 69006287 T2 EP 0411580 A1 US 5276625 A	20-03-1991 10-03-1994 16-06-1994 06-02-1991 04-01-1994
US 4744244 A	17-05-1988	JP 1736945 C JP 4021131 B JP 62192627 A DE 3704837 A1 GB 2187001 A ,B	26-02-1993 08-04-1992 24-08-1987 20-08-1987 26-08-1987
WO 0079113 A	28-12-2000	DE 19927846 A1 WO 0079113 A1 EP 1187976 A1	21-12-2000 28-12-2000 20-03-2002
EP 0657729 A	14-06-1995	JP 2893233 B2 JP 7158499 A DE 69416795 D1 DE 69416795 T2 EP 0657729 A2 US 5469735 A	17-05-1999 20-06-1995 08-04-1999 22-07-1999 14-06-1995 28-11-1995
DE 19945618 A	29-03-2001	DE 19945618 A1 IT MI20001997 A1 JP 2001090580 A	29-03-2001 14-03-2002 03-04-2001
EP 0416270 A	13-03-1991	DE 3929746 A1 DE 59004671 D1 EP 0416270 A1 JP 3100351 A JP 3146001 B2 US 5131371 A	14-03-1991 31-03-1994 13-03-1991 25-04-1991 12-03-2001 21-07-1992
EP 0115317 A	08-08-1984	JP 1491195 C JP 59206648 A JP 63040268 B EP 0115317 A2 US 4531399 A	07-04-1989 22-11-1984 10-08-1988 08-08-1984 30-07-1985